



SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESGASTE ABRASIVO DE ROLOS POLIMÉRICOS DE CORREIAS TRANSPORTADORAS

Daniel E. Pacholok¹, Igor E. E. Loureiro¹, Fernanda Kouketsu¹, Tiago Cousseau¹ e Carlos H. da Silva¹

1 - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba. R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, Curitiba –PR, 81280-340.

danielpacholok@hotmail.com

RESUMO

Rolos de correias transportadoras de minério estão constantemente sujeitos à abrasão de dois e três corpos. O travamento de um rolo metálico devido à falha do rolamento severiza a abrasão, e arestas afiadas capazes de cortar a correia são expostas. A alternativa para evitar a falha catastrófica é o uso de rolos poliméricos, que além disso são mais leves. Este trabalho apresenta uma adaptação do ensaio roda-de-borracha a fim de caracterizar e hierarquizar, segundo a resistência à abrasão, rolos poliméricos de diferentes composições mediante simulação experimental dos fenômenos de desgaste observados em campo. Construiu-se um equipamento para ensaio roda-de-borracha instrumentado e adaptado de maneira que sua configuração permite utilizar amostras com geometria anelar que rotacionam em contato com a roda-de-borracha. Ensaíram-se amostras provenientes de rolos de PEAD e PP aditivados com negro de fumo (NF); bem como UHMWPE, PP e PA 6 puros; e um rolo compósito de PEAD com carga de fibra de vidro (FV). Realizaram-se ensaios de abrasão roda de borracha adaptados para amostras rotacionando, com 250 N de força normal e 480.000 revoluções de duração. A hierarquização dos rolos é realizada em relação ao desgaste apresentado por perda de volume, mensurada mediante gravimetria. Os resultados apontam que a resistência à abrasão à três corpos segue a ordem: UHMWPE > PA 6 > PEAD+3,6%NF > PP+NF > PEAD+2,3%NF > PP > PEAD+76%FV. Dentre as propriedades conhecidas dos polímeros analisados, sugere-se influência da dureza, cristalinidade e alongamento avaliado no escoamento sobre a resistência à abrasão observada.

Palavras-chave: roda-de-borracha, abrasão de polímeros, transportador de correia, rolos poliméricos.

INTRODUÇÃO

Os sistemas mais modernos de transporte de minérios têm substituído a forma descontínua de transporte (mediante caminhões, ou por uso de vagões e trilhos) pela forma contínua (mediante esteiras de transporte de minério); a qual apresenta vantagens como segurança operacional, economia, menor impacto ambiental, confiabilidade e grande amplitude em capacidade de carregamento^(1,2). Componentes fundamentais do sistema de transporte por correias transportadoras são os rolos de carga, responsáveis por sustentar a correia ao longo de seu comprimento; e, tão importantes quanto a correia em si, tais rolos interferem no comportamento do material transportado, no consumo de energia demandado pela correia e viabilidade do

sistema como um todo⁽³⁾. Melhorias vêm sendo implementadas desde a concepção do uso de esteiras para transporte de minério, nas décadas de 60 e 70 na Inglaterra⁽¹⁾ até os tempos mais modernos mediante estudos que propõem modelos integrados para redução de energia⁽⁴⁾, sistemas de *deep-learning* para automatizar manutenção preditiva⁽⁵⁾ e uso de realidade virtual para treinamentos⁽⁶⁾. Ainda, dentre as melhorias propostas, a substituição da carcaça metálica dos rolos de carga por uma carcaça polimérica tem sido tema de pesquisas em razão da redução de peso, facilitação da manutenção corretiva e aumento de segurança em relação ao uso de rolos metálicos⁽⁷⁾.

No entanto, o uso de materiais poliméricos em substituição ao aço trás desafios de natureza estrutural e de resistência à abrasão. Cenna et al.⁽⁸⁾ mencionam o uso de materiais poliméricos na indústria automotiva como objetivo de redução de peso, bem como aplicação em transporte e manuseio de sólidos à granel tal como as indústrias de mineração e agricultura. Budinski⁽⁹⁾ relata o estudo de caso onde há utilização de placas de UHMWPE (Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular) como direcionadoras de grãos em um equipamento de briquetagem (fabricação de briquetes), no qual o uso de placas metálicas resultaria em contaminação do produto final por debris metálicos. Análises estruturais via métodos de elementos finitos considerando as propriedades viscoelásticas de materiais poliméricos verificaram ser factível o uso de rolos poliméricos sem prejuízo estrutural⁽¹⁰⁾. Estudos apresentam resultados acerca da resistência de polímeros à abrasão e sua relação com as propriedades mecânicas de polímeros^(11, 12, 13, 14). Fiset e Dussault⁽⁷⁾ relatam a resistência à abrasão a três corpos de compósitos de poliéster, sílica e alumina em diferentes composições; em seus ensaios os autores utilizaram uma adaptação do ensaio ASTM G65 para amostras com formato anelar, melhor representando as condições de desgaste observadas em campo.

Almejando contribuir para a compreensão sobre resistência à abrasão a três corpos ocorrida com rolos em esteiras de transporte de minério, desenvolveu-se uma adaptação do equipamento roda-de-borracha, inspirada no trabalho de Fiset e Dussault⁽⁷⁾, a fim de permitir ensaios com amostras retiradas diretamente de rolos de carga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Desenvolveu-se um dispositivo para fixar as amostras anelares no equipamento roda-de-borracha modificado⁽¹⁵⁾, permitindo realizar o ensaio com uma geometria de contato similar à condição em campo, conforme visto na Figura 1. Neste equipamento é possível realizar ensaios com a amostra em movimento, simulando as condições normais de operação de correias transportadoras, bem como com a amostra fixa, simulando condição de desgaste crítica de rolos, que decorre do travamento dos rolos em operação. Neste trabalho apenas os ensaios realizados em condição rotacionando serão apresentados.

A Figura 1 ilustra o esquema de montagem para ensaio com amostras anelares.

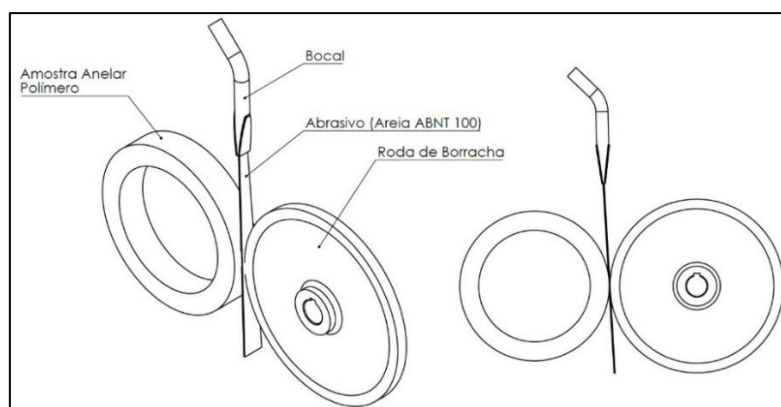


Figura 1: esquema de montagem de amostra anelar para ensaio roda de borracha modificado.

As amostras foram obtidas à partir de rolos poliméricos comerciais para esteiras de transporte de minério. Os rolos comerciais são submetidos a operações de corte e torneamento, retirando-se deles os corpos de prova anelares para realização dos ensaios.

A Figura 2 ilustra um casco de rolo polimérico e em destaque um corpo de prova.

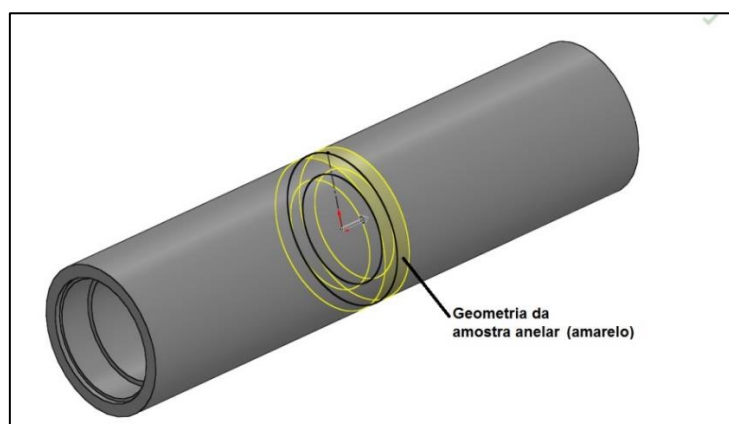


Figura 2: ilustração de rolo polimérico e corpo de prova.

A força normal aplicada na amostra durante os ensaios com amostras travadas foi estabelecida mediante consulta à norma NBR 6678⁽¹⁶⁾. A Tabela 1 apresenta as dimensões dos rolos estudados e a carga admissível de acordo com a Tabela 8 da NBR 6678.

Tabela 1: cargas admissíveis para rolos conforme NBR 6678.

Rolo	PEAD+ 3,6%NF	PEAD+ 2,3%NF	PEAD+ 76%FV	UHMWPE	PP+NF	PA 6	PP
Comprimento [mm]	800	800	800	495	800	800	800
Diâmetro do Eixo [mm]	40	50	50	30	40	50	50
Carga Admissível [N]	7.529	15.817	15.817	3.917	7.529	15.817	15.817
Carga/Comprimento [N/mm]	9,41	19,77	19,77	7.91	9.41	19,77	19,77

Conforme é possível observar na Tabela 1, a carga aplicada em campo prevista por norma apresenta valores entre 15.817N e 3.917N, resultando em um carregamento médio de aproximadamente 15N/mm. Visto que a largura da roda de borracha é de 12,7mm, utilizou-se uma carga de 250N a fim de se obter a mesma relação de carga por comprimento de contato. O tempo de ensaio de 2400 minutos foi determinado experimentalmente a fim de garantir desgaste mensurável nos materiais avaliados, e a velocidade de rotação da roda de borracha é de 200rpm (2,4m/s), velocidade similar à de correias transportadoras⁽¹⁷⁾. O abrasivo utilizado foi areia nacional brasileira ANBT 100, com vazão mássica de 220 g/min. A perda de massa e volumétrica foram mensuradas mediante gravimetria; sendo utilizadas balanças de 0,0001g de precisão, realizando-se pesagens antes e após cada ensaio. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de ensaio utilizados.

Tabela 2: parâmetros dos ensaios roda de borracha adaptado com amostras rotacionando.

Força Normal [N]	Rotação [rpm]	Abrasivo	Vazão de Abrasivo [g/min]	Tempo total de ensaio [min]
250	200	ABNT 100	220	2400

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez que cada ensaio tem longa duração, resultando em elevados valores de volume de desgaste e distância de ensaio, os resultados são apresentados em razão do volume pelo comprimento. A Figura 3 apresenta os resultados de desgaste obtidos.

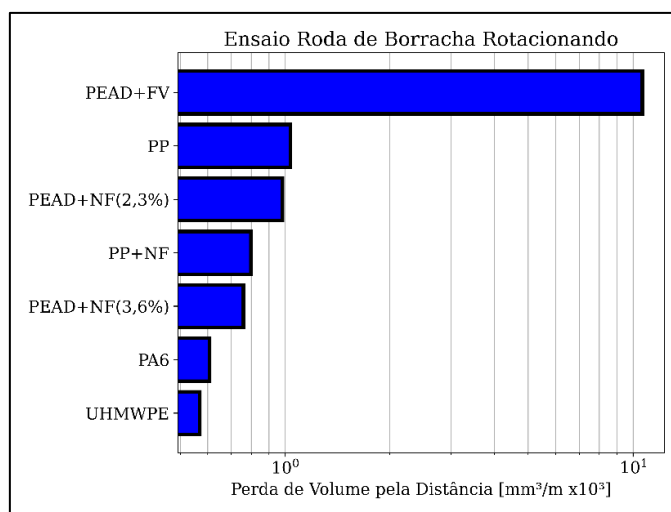


Figura 3: resultados de desgaste para os polímeros examinados, em mm³/km.

Observa-se na Figura 3 que o PEAD+FV apresentou maior valor de desgaste por quilômetro, ao passo que o UHMWPE apresentou menor desgaste.

Resultados similares foram obtidos por Budinski⁽⁹⁾, o qual realizou ensaios abrasivos com polímeros diversos e observou maior resistência à abrasão em amostras de UHMWPE. Autay *et al*⁽¹⁸⁾ realizou ensaios de abrasão por riscamento de esfera sobre amostras prismáticas (ASTM G133-05 e ASTM G12-96) com PA 6.6 reforçado com fibra de vidro, relatando também prejuízo na resistência ao desgaste abrasivo causado pelo reforço utilizado, apontando que o uso de natureza cerâmica promove regiões de contato com elevada densidade de fibras de vidro da superfície do compósito com o abrasivo; os resultados obtidos também por Budinski⁽⁹⁾ estão

em concordância com os resultados obtidos por Autay *et al*⁽¹⁸⁾ e com os resultados obtidos neste estudo. Como consequência, verifica-se aumento no desgaste em virtude da natureza frágil do material de reforço.

A poliamida e o UHMWPE foram os polímeros que apresentaram melhor desempenho em relação à resistência à abrasão por três corpos, sendo a hierarquia verificada em termos de resistência à abrasão como: UHMWPE > PA 6 > PEAD+3,6%NF > PP+NF > PEAD+2,3%NF > PP > PEAD+76%FV.

Embora o UHMWPE tenha apresentado melhor desempenho para resistência à abrasão, Kouketsu⁽¹⁹⁾ aponta que a degradação decorrente de intempéries pode causar relevante perda de resistência ao desgaste abrasivo. Desta forma, uma análise do efeito de intempéries se faz necessária para determinar a viabilidade de uso de polímeros como material para rolos de correias transportadoras.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, para a metodologia de ensaio aplicada e dentre os polímeros estudados, o UHMWPE apresentou maior resistência à abrasão em relação aos demais; e o PEAD+FV apresentou pior resistência à abrasão. Contudo, estudos abordando outras propriedades dos polímeros atreladas à influência de intempéries é necessária ainda para determinar a viabilidade de uso dos polímeros em rolos de correias transportadoras.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a empresa VALE, pelo financiamento do projeto 23064.023748/2018-79; ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da UTFPR (PPGEM-CT) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR.

REFERÊNCIAS

1. YARDLEY, E.D.; STACE, L.R. Belt conveying of minerals. Elsevier, 2008.
2. BERNARDI, L.; KUMRAL, M.; RENAUD, M. Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete event simulation. Simulation Modelling Practice and Theory, Elsevier, p.102100, 2020.
3. REICKS, A.V. Belt conveyor idler roll behaviors Bulk material handling by conveyor belt 7. 2008. p.35–40
4. MARX, D.; CALMEYER, J. A case study of an integrated conveyor belt model for the mining industry. In: IEEE. 2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa (IEEE Cat.No.04CH37590), 2004. v.2, p.661–666.
5. ZHANG, M.; SHI, H.; ZHANG, Y.; YU, Y.; ZHOU, M. Deep learning based damage detection of mining conveyor belt. Measurement, Elsevier, v.175, p.109130, 2021.
6. LUCAS, J.; THABET, W.; WORLIKAR, P. Using virtual reality (VR) to improve conveyor belt safety in surface mining. In: 24th W78 Conference Maribor 2007 & 5th ITCEDU Workshop & 14th EG-ICE Workshop: Bringing ITC knowledge to work, 2007. p.431–438.
7. FISET, M. and Dussault, D., “Laboratory simulation of the wear process of belt conveyor rollers.” Wear, 1993. Vol. 162-164, pp. 1012–1015.
8. CENNA, A.; ALLEN, S.; PAGE, N.; DASTOOR, P. Modelling the three-body abrasive wear of UHMWPE particle reinforced composites. **Wear**, Elsevier, v.254, n.5-6, p.581–588, 2003.
9. Budinski, K.G., 1997. “Resistance to particle abrasion of selected plastics”. Wear, Vol. 203, pp. 302–309.
10. DE SÁ MARTINS, R., Ceniz, J. P., Luersen, M. A. and Cousseau, T. Design of a conveyor belt idler roller using a hybrid topology/ parametric optimization approach. XLI Ibero-Latin-American

Congress on Computational Methods in Engineering (Foz do Iguaçu/Paraná/Brazil, November 16-19, 2020).

11. HARSHA, A. P. An investigation on low stress abrasive wear characteristics of high performance engineering thermoplastic polymers. *Wear* 271. 2011. 942–951.
12. LANCASTER, J. K. Abrasive wear of polymers. *Wear* 14. 1969. p 223–239.
13. STACHOWIAK, G.W. BATCHELOR AND ANDREW, W. *Engineering Tribology*. 2013. (UK: Butterworth-Heinemann)
14. BRISCOE, B. J., Evans, P.D., Pellilo, E. and Sinha, S.K. Scratching maps for polymers *Wear* 200. 1996. p 137–47.
15. PACHOLOK, D.E., Kouketsu, F., Martins, D. A., Cousseau, T. and da Silva, C.H. Experimental measuring procedure for wear and coefficient of friction of polymeric conveyor idlers. 2021.
16. ABNT NBR 6678 2018. Carriers and belt conveyors—Idlers—Project, selection and standardization.
17. ASTM-G65-16, S. American Standard for Testing Materials. Measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus, Annual Book of Standards. ASTM, 2017.
18. AUTAY, R., et al. "Mechanical and tribological study of short glass fiber-reinforced PA 66." *Polymers and Polymer Composites* 27.9 (2019): 587-596.
19. KOUKETSU, Fernanda. Efeito da radiação ultravioleta e da névoa salina na resistência ao riscamento de polietilenos usados em rolos de carga de transportadores de correia. MS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

EXPERIMENTAL SIMULATION OF ABRASIVE WEAR OF CONVEYOR BELTS POLYMERIC ROLLS

ABSTRACT

Ore conveyor belt idler rollers are constantly subjected to two and three-body abrasion. Locking of a metal roller due to bearing failure may cause severe abrasion, and sharp edges capable of cutting the belt are exposed. The alternative to avoid catastrophic failure is the use of polymeric rollers, which are also lighter. This work presents an adaptation of the rubber wheel test in order to rank, according to abrasion resistance, polymeric rolls of different compositions through experimental simulation of the wear phenomena observed in the field. An instrumented rubber wheel test equipment was built and adapted so that its configuration allows the use of samples with annular geometry that rotate in contact with the rubber wheel. Samples from rolls of HDPE and PP added with carbon black (CB) were tested; as well as pristine UHMWPE, PP and PA 6; and a glass fiber (GF) filled HDPE composite roll. Adapted rubber wheel abrasion tests were carried out with 250 N normal force and 480,000 revolutions. The ranking of the rolls was performed regarding the wear presented by loss of volume, measured by gravimetry. The results showed the three-body abrasion resistance follows the order: UHMWPE > PA 6 > HDPE+3.6%CB > PP+CB > HDPE+2.3%CB > PP > HDPE+76%GF. Among the known properties of the analyzed polymers, the influence of hardness, crystallinity and elongation evaluated in the flow on the observed abrasion resistance is suggested.

Keywords: rubber wheel, polymer abrasion, belt conveyor, polymer rollers.